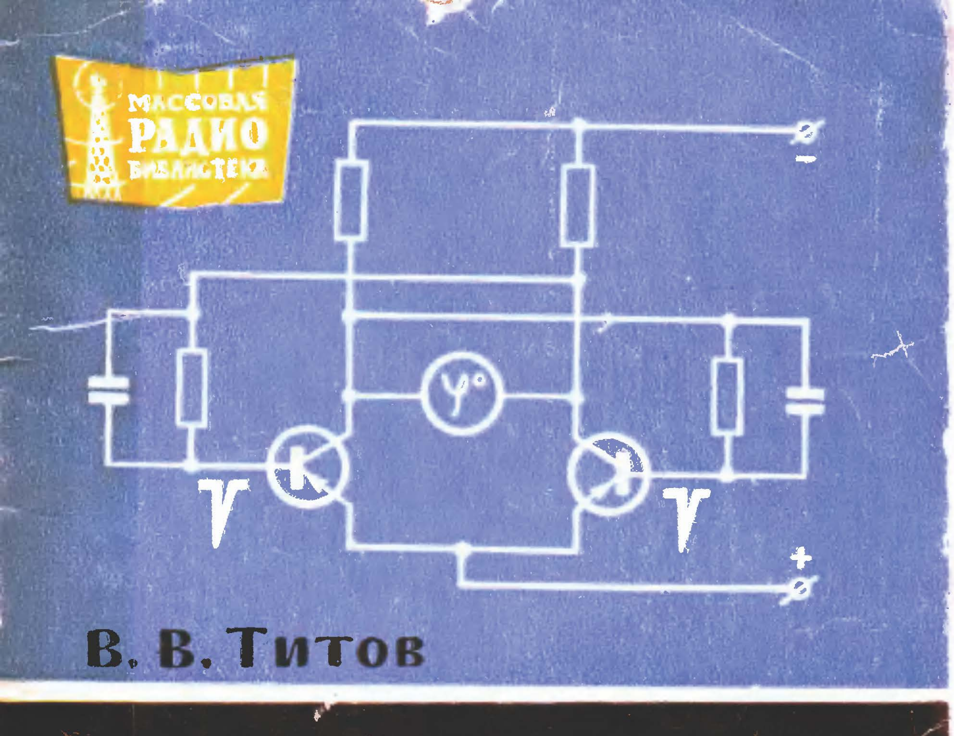


В. В. Титов

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СПУСКОВЫЕ УСТРОЙСТВА

ПРЕДИСЛОВИЕ

В последнее время в измерительной технике все больше и больше находят широкое применение спусковые устройства, используемые в качестве измерительных элементов, показывающих, регистрирующих и регулирующих приборов электрических и неэлектрических величин. На основе триггерного фазометра, например, конструируют электрические вискозиметры, толщиномеры. На основе мультивибраторного частотомера строят приборы для измерения скольжения, регуляторы оборотов. На основе измерительного элемента емкости можно сконструировать электрические влагомеры, уровнемеры, автоматы по разбраковке конденсаторов по номиналам и другие устройства. Выполнение таких измерительных элементов на транзисторах позволяет конструировать малогабаритную аппаратуру с автономным питанием, удобную для проведения самых различных измерений.

Наряду с описанием принципов измерений электрических и неэлектрических величин с использованием спусковых устройств, выполненных на транзисторах, в данной брошюре расматриваются и конкретные измерительные схемы, которые могут найти применение для контроля и автоматизации производственных процессов. Содержание брошюры, таким образом, направлено на то, чтобы помочь радиолюбителю-производственнику при конструировании им аппаратуры производственного и технологического контроля.

В. ТИТОВ

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СПУСКОВЫХ УСТРОЙСТВ

В настоящее время для измерения различных электрических и механических величин широко применяются времяимпульсный и числоимпульсный методы.

Времяимпульсный метод основан на измерении величины временно́го интервала между двумя электрическими импульсами и преобразование этой величины в электрический ток, пропорциональный измеряемому временно́му интервалу. Наиболее часто времяимпульсный метод измерений применяется при определении электрических и неэлектрических угловых величин и основывается на применении измерительного триггера.

Числоимпульсный метод измерений заключается в преобразовании частоты следования импульсов, поступающих на вход измерительного устройства, в электрический ток, средняя величина которого пропорциональна частоте следования входных импульсов. Этот метод реализуется путем применения ждущего измерительного мультивибратора.

Измерительные устройства, схемы которых рассматриваются в данной брошюре, построены на транзисторах, позволяющих создавать малогабаритные переносные измерительные приборы с автономным питанием. При измерении электрических величин измерительные устройства состоят из формирующих, измерительных и выходных каскадов, а также регистрирующих приборов, а в случае измерения неэлектрических величин включает в себя специальные датчики.

1. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ТРИГГЕР

Принцип измерения углов рассогласования между двумя электрическими импульсами или синусоидальными напряжениями одной и той же частоты основан на измерении интервала времени между этими двумя импульсами или напряжениями и преобразовании этого интервала в электрический ток. Для преобразоваиия неэлектрической величины—интервала времени в электрическую обычно применяется спусковое устройство с двумя состояниями устойчивого равновесия, называемое измерительным симметричным триггером.

Симметричный триггер на транзисторах (рис. 1,*а*) состоит из двух усилительных каскадов с одинаковыми элементами, охваченных коллекторно-базовыми связями через сопротивления R_1. Триггер имеет только два состояния устойчивого равновесия: первое, при котором транзистор T_1 заперт, а транзистор T_2 отперт, и второе, когда транзистор T_1 отперт, а транзистор T_2 заперт.

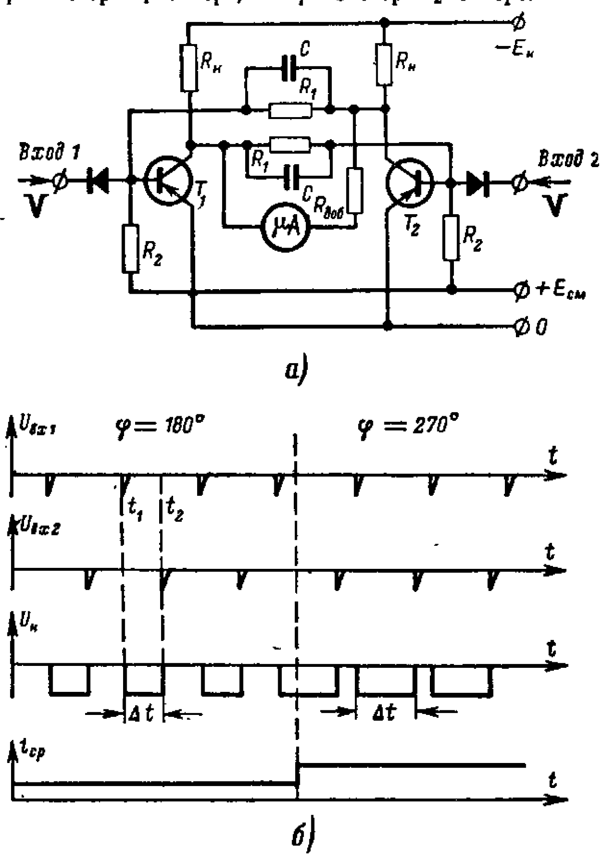


Рис. 1. Измерительный триггер.
а — схема; *б* — временная диаграмма ($U_к$ — напряжение на коллекторе транзистора T_2).

Рассмотрим работу устройства применительно к измерению углов рассогласования. При отсутствии сигналов на базах транзисторов T_1 и T_2 триггер будет находиться в одном из устойчивых состояний. Допустим, что транзистор T_1 заперт, а транзистор T_2 отперт. В какой-то момент t_1 (рис. 1,*б*) на вход *1* приходит отрицательный стартовый импульс $U_{вх1}$, переключающий триггер. Транзистор T_1 отпирается, а транзистор T_2 запирается. Через время Δt

на вход 2 поступает импульс $U_{вх2}$, который переключает триггер в исходное состояние равновесия. На коллекторах обоих транзисторов возникают прямоугольные перепады напряжения, длительность которых пропорциональна углу рассогласования во времени между импульсами, поступающими на входы 1 и 2 симметричного триггера.

Если между коллекторами транзисторов T_1 и T_2 включить микроамперметр μA, который является интегратором, то средний ток $i_{ср}$, протекающий через микроамперметр, будет пропорционален углу рассогласования между запускающими импульсами. На временной диаграмме (рис. 1,б) показано изменение во времени угла рассогласования Δt между стартовыми импульсами $U_{вх1}$ и $U_{вх2}$. При увеличении угла Δt увеличивается площадь прямоугольных импульсов $U_к$, образующихся на коллекторах, и соответственно величина среднего тока, протекающего через измерительный прибор, которая не зависит от изменения угловой частоты запускающих импульсов.

Стартовые импульсы $U_{вх1}$ и $U_{вх2}$ образуются при помощи формирующих каскадов. Угол рассогласования между стартовыми импульсами во времени Δt, измеренный прибором, является углом между величинами, подаваемыми на входы формирующих каскадов.

2. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ МУЛЬТИВИБРАТОР

Для измерения частоты следования электрических импульсов применяется измерительный заторможенный мультивибратор на транзисторах, схема которого показана на рис. 2,а, а временная

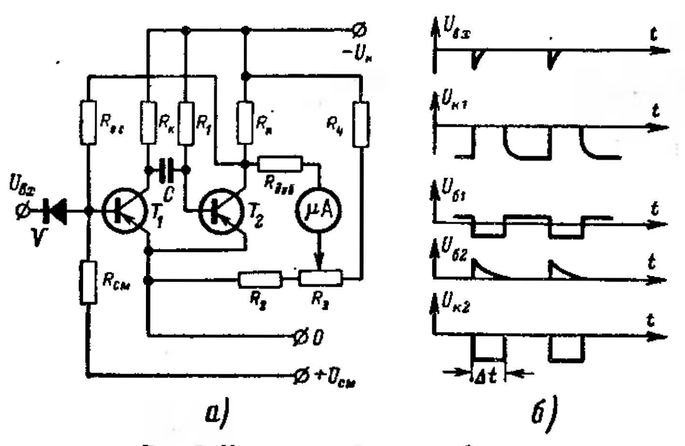


Рис. 2. Измерительный мультивибратор.
а — схема; *б* — временная диаграмма.

диаграмма на рис. 2,б. Мультивибратор имеет одно устойчивое состояние равновесия, при котором транзистор T_2 отперт. При поступлении отрицательного импульса на базу транзистора T_1 по-

следний отпирается, а транзистор T_2 запирается за счет разряда конденсатора C. Длительность этого неустойчивого состояния равновесия в основном определяется величиной параметров R_1 и C. После разряда конденсатора C через сопротивление R_1 и отпертый транзистор T_1 устройство переходит в первоначальное устойчивое состояние равновесия.

Таким образом, измерительный мультивибратор на каждый стартовый импульс генерирует прямоугольные нормализованные импульсы тока, т. е. импульсы с постоянной длительностью и амплитудой. При этом длительность импульса Δt не зависит от частоты стартовых импульсов. Частота следования генерируемых импульсов равна частоте стартовых импульсов $U_{\text{вх}}$ и соответственно частоте входного напряжения.

Если включить между коллектором транзистора T_2 и делителем R_2 R_3 R_4 (служащим для компенсации начального уровня напряжения на коллекторе транзистора T_2) магнитоэлектрический микроамперметр μA с омическим сопротивлением $R_{\text{пр}}$, то среднее значение тока прибора

$$i_{\text{ср}} = \frac{U\Delta t}{2\pi R_{\text{пр}}} f, \qquad (1)$$

где U и Δt — соответственно амплитуда и длительность выходного импульса;

f — частота следования выходных импульсов, равная частоте стартовых импульсов.

Поскольку величины U, Δt и $R_{\text{пр}}$ постоянны, среднее значение тока прибора пропорционально частоте входного напряжения (т. е. измеряемой частоте следования импульсов).

3. ПРИМЕНЕНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СПУСКОВЫХ УСТРОЙСТВ

Примеры применения измерительных спусковых устройств приведены на рис. 3 и 4. Рис. 3 иллюстрирует основные случаи применения измерительного триггера. На рис. 3,*а* показана блок-схема измерителя угла δ между двумя синусоидальными напряжениями или угла φ между током и напряжением, а на рис. 3,*б* — блок-схема измерителя частоты переменного тока f посредством фазосдвигающего фильтра *ПФ* и измерительного триггера *Т*.

На рис. 3,*в* приводится блок-схема измерителя угла опережения зажигания θ у двигателей внутреннего сгорания с воспламенением рабочей смеси от искры. Здесь *1* — контактный прерыватель распределителя, *2* — маховик двигателя и *3* — датчик, фиксирующий положение верхней мертвой точки рабочих цилиндров.

На рис. 3,*г* показана блок-схема измерителя крутящего момента *М* на валах. Здесь *1* — двигатель, *2* — датчики, *3* — ферро-кольца и *4* — нагрузка. Угол скручивания вала и соответственно фаза импульсов во времени, поступающих с датчиков, помещенных на концах вала, пропорциональна крутящему моменту. Измерительное устройство *Т* фиксирует средний ток, величина которого пропорциональна крутящему моменту на валу.

На рис. 3,*д* приводится блок-схема измерителя толщины гальванических покрытий. На ферромагнитной основе *1* имеется галь-

ваническое покрытие 2. В зависимости от толщины этого покрытия меняется индуктивность датчика 3, являющегося элементом фазосдвигающего фильтра *ФУ*. Величина среднего тока, протекающего через измерительный прибор μ, пропорциональна изменению фазы напряжения на выходе фильтра и соответственно толщине гальванического покрытия.

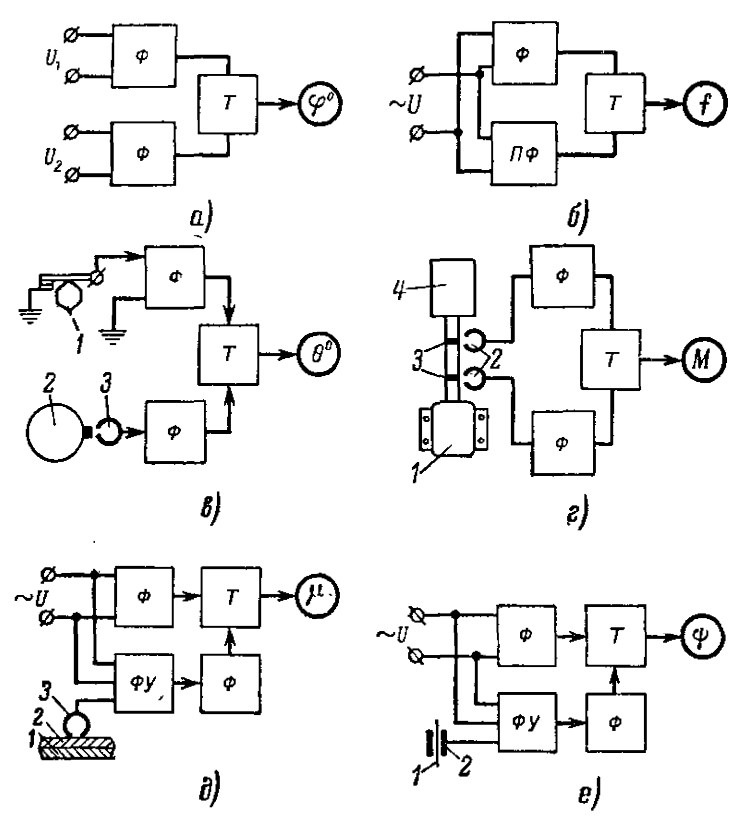


Рис. 3. Примеры применения измерительного триггера.

На рис. 3,*е* показана блок-схема измерителя влажности бумаги. Здесь бумажная лента *1* перемещается мимо неподвижно закрепленного емкостного датчика *2*. При изменении влажности меняется емкость датчика и соответственно фаза напряжения на выходе фильтра. Величина среднего тока, протекающего через прибор Ψ, пропорциональна влажности бумаги.

Рис. 4 иллюстрирует основные случаи применения измерительного мультивибратора. Здесь буквой *М* обозначен измери-

тельный мультивибратор, а буквой *Ф* — формирующий каскад. На рис. 4,*а* показана блок-схема измерителя частоты переменного тока. Средняя величина тока, протекающего через измерительный прибор *f*, пропорциональна частоте следования стартовых импульсов и соответственно частоте входного напряжения. Аналогично работает устройство для измерения числа оборотов *n*, блок-схема которого показана на рис. 4,*б*, где *1* — вращающийся вал, а *2* — датчик импульсов.

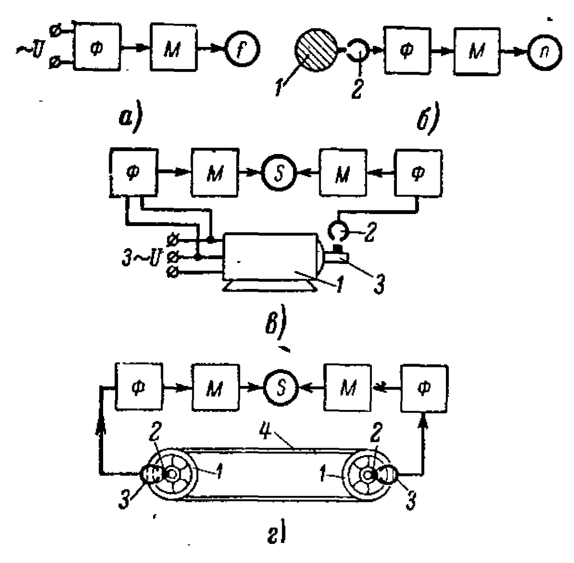


Рис. 4. Примеры применения измерительного мультивибратора.

На рис. 4,*в* представлена блок-схема устройства для измерения величины скольжения ротора асинхронной машины относительно частоты питающей сети. Величина среднего тока, протекающего через измерительный прибор *S*, пропорциональна разности частот повторений стартовых импульсов и соответственно скольжению ротора. Здесь — *1* асинхронная машина, *2* — датчик импульсов и *3* — вал. Аналогично работает устройство для измерения коэффициента проскальзывания ременной передачи, блок-схема которого показана на рис. 4,*г*, где *1* — ведущий и ведомый шкивы, *2* — намагниченные шпильки, *3* — импульсные датчики и *4* — ремень.

Формирующие каскады, применяемые в измерительных схемах, преобразуют входные сигналы в стартовые импульсы, поступаю-
В качестве входного сигнала можно использовать любое переменное
щие на запуск измерительных триггеров или мультивибраторов.
напряжение в диапазоне 10—10^5 *гц*, а также напряжение, получаемое с импульсных датчиков любой конструкции.

ГЛАВА ВТОРАЯ

ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Рассмотрим несколько практических схем фазометров и частотомеров, основанных на времяимпульсном и числоимпульсном методах измерений. Основным преимуществом таких приборов является малая погрешность показаний от изменения в широких пределах амплитуды входных сигналов, что позволяет применять их в регистрирующих устройствах при исследовании переходных процессов, а также в качестве измерительных элементов регулирующих устройств.

4. ТРИГГЕРНЫЙ ФАЗОМЕТР

Принципиальная схема фазометра, позволяющего измерять сдвиг фаз синусоидальных напряжений от 0 до 360° (в электрических градусах), приведена на рис. 5. Напряжения, между которыми необходимо измерить фазовый угол, подаются на входы идентичных каналов *1* и *2* и через разделительные трансформаторы $Тр_1$ и $Тр_2$ поступают на входы усилителей-органичителей, собран-

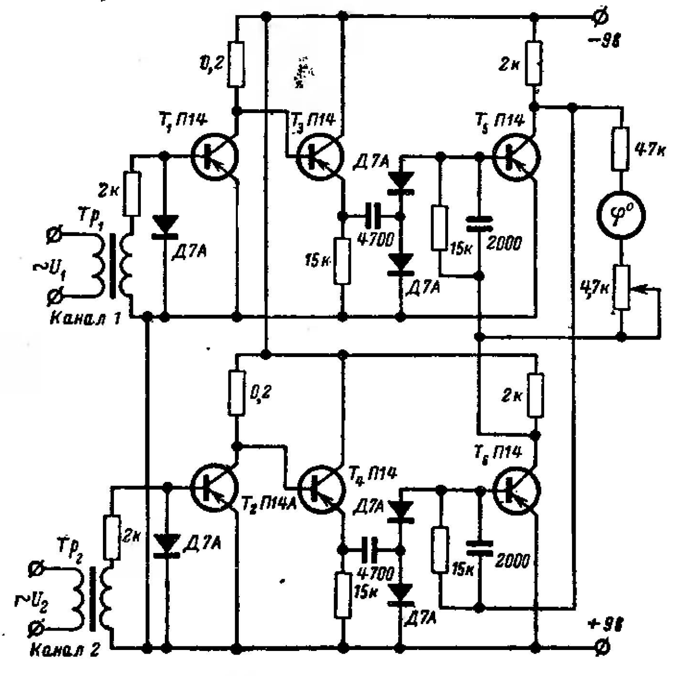


Рис. 5. Схема триггерного фазометра.

ных на транзисторах T_1 и T_2. Полученные в результате ограничения трапецеидальные импульсы усиливаются по току транзисторами T_3 и T_4.

Дифференцирующие контуры, состоящие из емкости и диода, преобразуют трапецеидальные импульсы в стартовые импульсы малой длительности, поступающие на запуск симметричного триггера, выполненного на транзисторах T_5 и T_6. Длительность прямоугольных перепадов напряжения, образующихся в коллекторных цепях триггера, пропорциональна углу рассогласования между входными напряжениями.

Магнитоэлектрический микроамперметр (типа М24 на 100 *мка*), включенный между коллекторами транзисторов триггера, отградуирован в электрических градусах. Средний ток, протекающий через магнитоэлектрический прибор, линейно зависит от сдвига фаз, причем шкала прибора равномерна и разбита на 360 делений.

Трансформаторы Tp_1 и Tp_2 выполнены на сердечниках Ш12×
×20 *мм*. Первичные обмотки этих трансформаторов содержат по 8 000, а вторичные обмотки — по 800 витков провода ПЭВ-0,1.

Фазометр четко работает в диапазоне 20—20 000 *гц* при изменении амплитуды входных напряжений от 20 до 220 *в*.

5. ФАЗОМЕТР-ЧАСТОТОМЕР

На рис. 6 показана принципиальная схема фазометра-частотомера, позволяющего одновременно измерять угол между напряжениями, подаваемыми на вход прибора, и частоту входных напряжений. Напряжения U_1 и U_2, между которыми измеряется сдвиг фаз, подаются на входы *1* и *2* идентичных формирующих каналов. Напряжение U_2 — опорное.

Напряжение U_1 через разделительный трансформатор Tp подается на базу транзистора T_1 усилительно-ограничительного каскада. Цепочка $R_1Д_1$ срезает положительную полуволну напряжения U_1. Прямоугольные импульсы, образующиеся на коллекторе транзистора T_1, усиливаются по току эмиттерным повторителем, собранном на транзисторе T_2. Дифференцирующая цепочка $C_1Д_2$ формирует стартовые импульсы малой длительности, которые через диод $Д_3$ поступают на запуск измерительного триггера, построенного на транзисторах T_3 и T_4.

Аналогично работает второй формирующий канал на транзисторах T_7 и T_8. Стартовые импульсы, сформированные дифференцирующей цепочкой $C_4Д_4$, через диод $Д_5$ поступают на запуск измерительного триггера. Сельсин-фазовращатель *СФ*, включенный на входе второго канала, служит для компенсации внутренних фазовых сдвигов и для установки фазометра на нуль. В случае, если не представляется возможным иметь трехфазное опорное напряжение, то вместо сельсина можно использовать любой однофазный фазовращатель.

Эмиттерные повторители, собранные на T_5 и T_6, согласуют большое выходное сопротивление транзисторов T_3 и T_4 триггера с малым сопротивлением измерительного прибора $ИП_1$, который включен по балансной схеме между эмиттерами транзисторов T_5 и T_6. Прибор $ИП_1$ отградуирован в градусах (0—360°). Сопротивление R_{10} служит для компенсации неидентичности характеристик

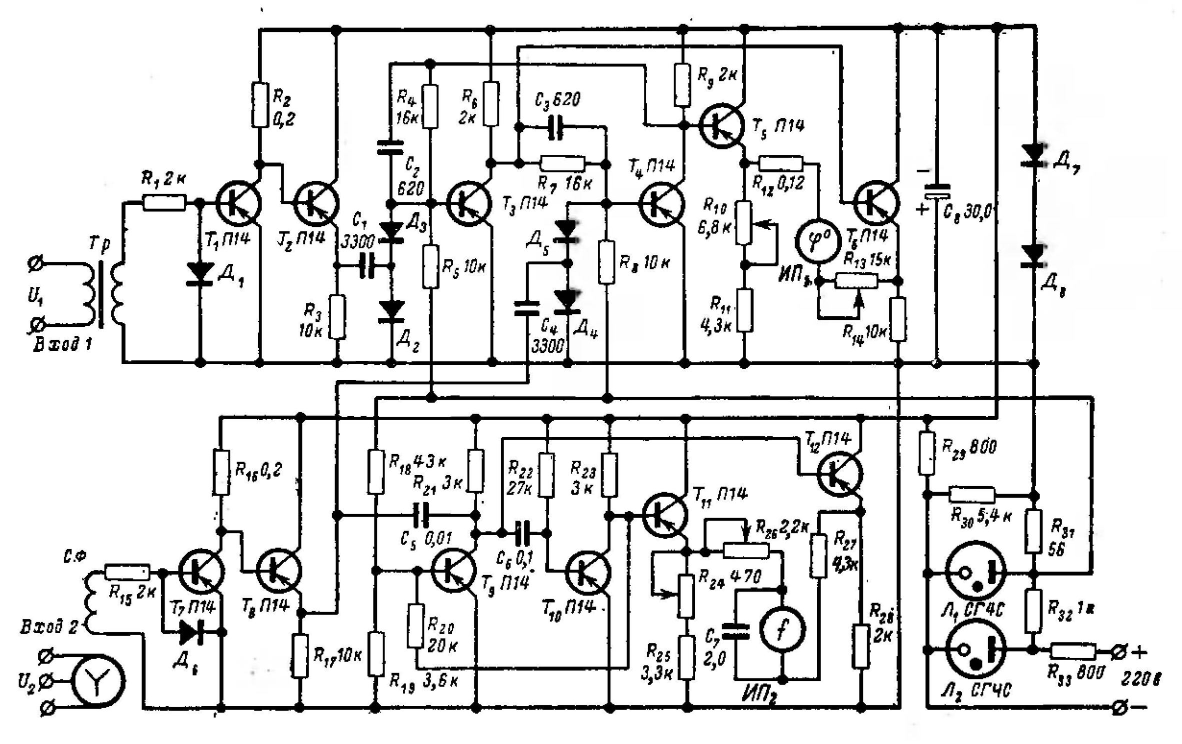


Рис. 6. Схема фазометра-частотомера.

транзисторов, а сопротивление R_{13} — для корректировки шкалы измерительного прибора.

Отрицательные прямоугольные импульсы с эмиттера транзистора T_8 поступают на коллектор транзистора T_9, запуская ждущий мультивибратор, собранный на транзисторах T_9 и T_{10}. Эмиттерные повторители с транзисторами T_{11} и T_{12}, построенные как и повторители с T_5 и T_6, согласуют большое выходное сопротивление транзисторов T_9 и T_{10} с малым сопротивлением измерительного прибора $ИП_2$, включенного по балансной схеме между эмиттерами транзисторов T_{11} и T_{12}. Прибор $ИП_2$ отградуирован в герцах (40—60 *гц*). Назначение сопротивлений R_{24}, R_{26} аналогично R_{10} и R_{13}.

Напряжение питания стабилизировано ламповыми стабилитронами $Л_1$ и $Л_2$ со стороны сети оперативного постоянного тока и кремниевыми стабилитронами $Д_7$ и $Д_8$ со стороны нагрузки. Диоды $Д_7$, $Д_8$ — типа Д-808, а $Д_1$—$Д_6$ типа Д7А. Эксплуатационные характеристики прибора практически не зависят от изменения в широких пределах входных напряжений, напряжения питания и температуры окружающей среды.

Градуировка шкал триггерных фазометров производится посредством трехфазных фазовращателей промышелнной частоты, имеющих шкалу, разбитую на 360°, и заключается в подборе добавочного сопротивления к стрелочному прибору, обеспечивающему полное отклонение стрелки при измеряемом угле, равном 360°. При отсутствии специального фазовращателя шкалу можно отградуировать по двум точкам (0° и 180°), переключая вторичную обмотку входного трансформатора и учитывая, что зависимость между током и углом линейная.

Следует отметить, что триггерные фазометры можно применять для измерения различных электрических величин совместно с полосовыми фильтрами. Известно, что фаза напряжения на выходе полосового фильтра изменяется относительно фазы входного напряжения при изменении частоты на входе, причем с увеличением частоты уменьшается амплитуда выходного напряжения. Соединяя полосовой фильтр и триггерный фазометр, получают измерительное устройство, которое реагирует на изменение фазы на выходе фильтра пропорционально изменению частоты сигнала и показаиия которого (в силу свойств триггерного фазометра) не зависят от изменения амплитуд входных сигналов в широких пределах.

Рассмотрим блок-схему измереиия частоты переменного тока (рис. 7,*а*) посредством триггерного фазометра, описанного выше. Входной сигнал подается на разделительный трансформатор *Тр*, имеющий две вторичные обмотки. На вход *1* фазометра подается напряжение U_1, синфазное с входным сигналом, а на вход *2* — напряжение U_2 с выхода полосового фильтра, фаза которого зависит от изменения частоты входного сигнала (рис. 7,*б*). В соответствии с изменением частоты входного сигнала изменяется угол сдвига фаз между напряжениями U_1 и U_2, и средний ток, протекающий через прибор, включенный на выходе фазометра, будет пропорционален частоте входного сигнала.

Описанным методом можно измерять ряд неэлектрических величин, если в качестве элементов полосового фильтра включить индуктивные или емкостные датчики и в качестве опорного на-

пряжения $\sim U$ взять напряжение звуковой частоты порядка 10—20 *кгц*. В этом случае изменение индуктивности или емкости датчика вызовет изменение фазы на выходе фильтра и соответственно угла сдвига фаз между напряжениями U_1 и U_2, а показания прибора будут пропорциональны изменению индуктивности или емкости датчика.

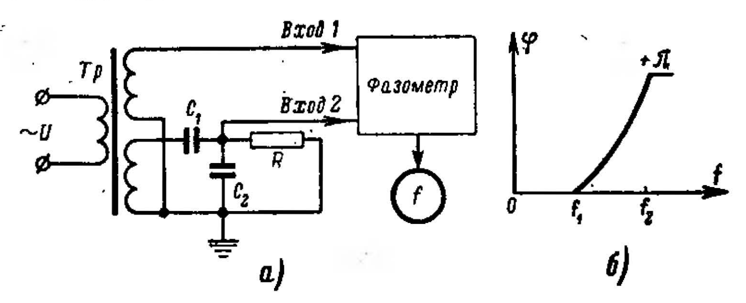


Рис. 7. Измерение частоты триггерным фазометром.

6. МУЛЬТИВИБРАТОРНЫЙ ЧАСТОТОМЕР

Принципиальная схема мультивибраторного частотомера, имеющего три предела измерений (20—200, 200—2 000 и 2 000—20 000 *гц*) и предназначенного для измерения частоты сигналов, амплитуда которых может изменяться в широких пределах, приведена на рис. 8. Питание устройства производится от источника постоянного тока напряжением 9 *в*.

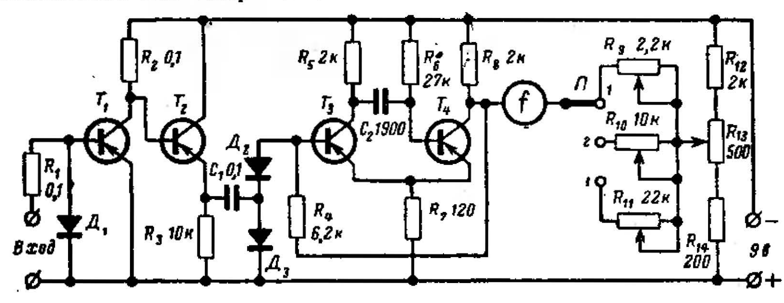


Рис. 8. Схема мультивибраторного частотомера.

Входные каскады, построенные на транзисторах T_1 и T_2, формируют из входной синусоиды короткие стартовые импульсы, поступающие на запуск ждущего мультивибратора, собранного на транзисторах T_3 и T_4. За один период входной синусоиды образуется один отрицательный стартовый импульс. В соответствии с частотой следования стартовых импульсов мультивибратор генерирует прямоугольные импульсы постоянной длительности.

К коллектору транзистора T_4 по балансной схеме подключен измерительный прибор, отградуированный в герцах. Средний ток,

протекающий через прибор, пропорционален частоте следования стартовых импульсов и соответственно частоте входного напряжения. Градуировка шкал производится сопротивлениями R_9—R_{14} с помощью звукового генератора.

В приборе использованы транзисторы типа П14, микроамперметр типа М24 со шкалой на 100 *мка* и диоды типа Д7А.

7. УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЕМКОСТИ КОНДЕНСАТОРОВ

Принципиальная схема устройства[1] (рис. 9) для измерения емкости конденсаторов, в котором в качестве стрелочного указывающего прибора можно применить любой магнитоэлектрический микроамперметр с линейной шкалой, показана на рис. 9.

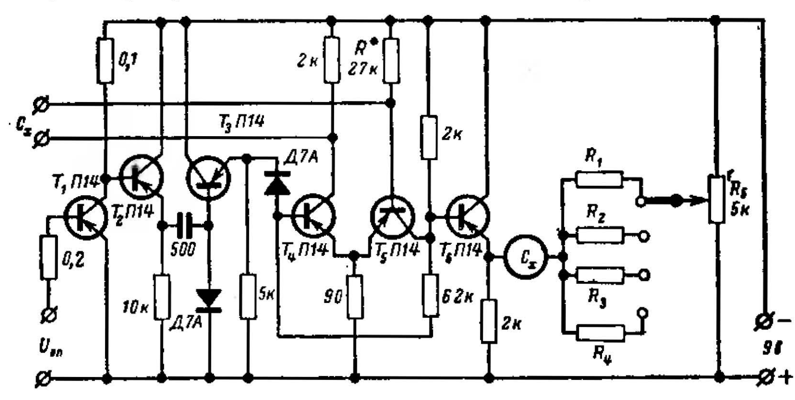


Рис. 9. Схема устройства для измерения емкости.

На зажимы $U_{оп}$ подается опорное напряжение от электросети или от звукового генератора, а к зажимам C_x подключается измеряемая емкость. Каскады, собранные на транзисторах T_1—T_3, формируют из синусоиды стартовые отрицательные импульсы, которые запускают ждущий мультивибратор, построенный на транзисторах T_4 и T_5. Мультивибратор генерирует отрицательные прямоугольные импульсы с частотой, равной частоте входной синусоиды, и длительностью, определяемой произведением $0{,}6R^*C_x$. Эти импульсы усиливаются по току эмиттерным повторителем, собранным на транзисторе T_6.

Средний ток, протекающий через стрелочный прибор, включенный в эмиттерной цепи транзистора T_6, определяется следующим равенством:

$$I_{ср} = KUR^*C_xf_{оп},$$

где K — коэффициент пропорциональности;

U — амплитуда импульса на выходе эмиттерного повторителя (транзистор T_6);

---

[1] Схема предложена автором.

C_x — измеряемая емкость;
$f_{оп}$ — частота следования импульсов.

Из этого выражения видно, что ток $i_{ср}$ линейно зависит от измеряемой емкости C_x конденсатора.

Устройство имеет четыре диапазона измерения емкостей: 0—100 *пф*; 0—1 000 *пф*; 0—0,1 *мкф*; 0—0,5 *мкф*. При измерении емкостей до 1 000 *пф* частота опорного напряжения равна 20 *кгц*, а емкостей до 0,5 *мкф* она должна быть 50 *гц*. Это устройство особенно удобно при измерении емкости переменного конденсатора, так как по шкале сразу определяется минимальная и максимальная его емкость. Перед измерением стрелка прибора устанавливается на нуль потенциометром R_5. Градуировка устройства осуществляется посредством эталонных емкостей, а выбор величин сопротивлений R_1—R_4 производится в зависимости от типа стрелочного прибора.

Следует отметить, что применение описанного измерительного устройства совместно с емкостными датчиками позволяет измерять и различные неэлектрические величины.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ НЕЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Применение в автотракторной технике измерительных спусковых устройств на транзисторах имеет большие перспективы вследствие виброустойчивости, большого срока работы, а также возможности питания непосредственно от стартерных аккумуляторных батарей. Рассмотрим три прибора, предназначенных для измерений параметров двигателей внутреннего сгорания. Эти приборы в основном предназначены в помощь владельцам индивидуальных автомобилей для правильной регулировки и эксплуатации автомобильных двигателей. Конструкции их достаточно просты и могут быть выполнены автолюбителями, имеющими навык в электротехнике.

8. ПРИБОР ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УГЛА ОПЕРЕЖЕНИЯ ЗАЖИГАНИЯ

Принципиальная электрическая схема прибора показана на рис. 10. Для измерения угла опережения зажигания θ на двигателе необходимо установить датчик опорных импульсов *ДИ*, фиксирующий во времени момент прохождения цилиндром верхней мертвой точки или любой другой отсчетный момент. Датчик изготавливается из обычных контактов прерывателя (подробнее датчики будут рассмотрены ниже).

Слева на рис. 10 показана схема соединений прибора с электрооборудованием четырехцилиндрового двигателя. В маховик двигателя *1* ввернуты две шпильки *2*, размыкающие контакты датчика *ДИ*. Неподвижный контакт *3* соединен с массой двигателя,

а подвижный *4* изолирован от нее. Шпильки *2* расположены диаметрально на 180° так, чтобы размыкание контактов датчика *ДИ* происходило 2 раза за один оборот маховика.

Такая конструкция датчика дает возможность уравнять частоту повторений стартовых импульсов по обоим входам измерительного триггера, так как в четырехцилиндровых двигателях за один оборот коленчатого вала возникают два импульса в системе зажигания. Следовательно, для правильной работы измерительного триггера необходимо сформировать два стартовых импульса за один оборот коленчатого вала двигателя со стороны датчика опорных импульсов.

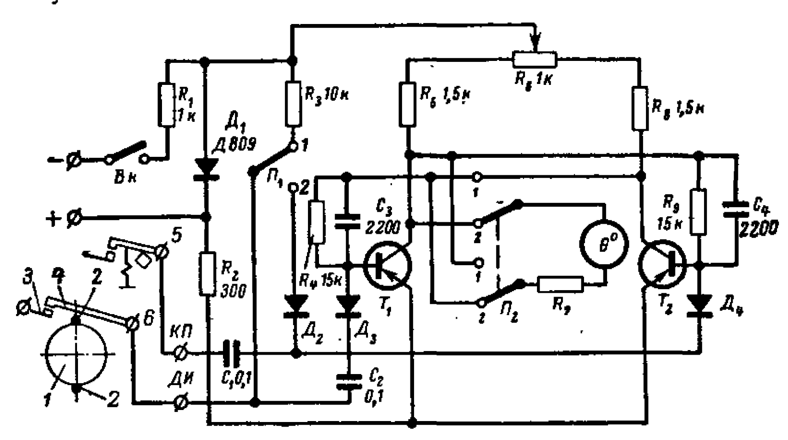


Рис. 10. Схема прибора для измерения угла опережения зажигания.

Если маховик двигателя разбить на 360° и за 0° принять момент прохождения первым цилиндром верхней мертвой точки, то первое размыкание происходит при 90°, а второе при 270°. Такая последовательность работы датчика связана с особенностью работы измерительного триггера: при угле опережения зажигания, равном нулю, средний ток, протекающий через указывающий прибор, будет тоже равен нулю.

Четыре зажима, выведенные на переднюю панель прибора, подключаются к зажимам электрооборудования автомобиля. Вывод контактов прерывателя распределителя *5* соединяется с зажимом *КП*, вывод датчика импульсов *6* — с зажимом *ДИ*, а зажимы питания (— и +) прибора — с аккумуляторной батареей испытуемого автомобиля. Выключателем *Вк* производится включение питания прибора. Переключатель $П_1$ переводится в положение *2* (установка нуля) и ручкой потенциометра R_6 производится установка на нуль стрелочного прибора. Затем переключатель $П_1$ переводится в положение *1* (работа) и производится отсчет угла θ с учетом положения переключателя $П_2$. Последний служит для переключения диапазона измерения: в положение *2* (раннее зажигание) шкала прибора соответствует 30° опережения, а в положении *1* (позднее зажигание) — 30° запаздывания искрообразования.

Отрицательные прямоугольные импульсы, фиксирующие момент искрообразования, поступают с контактов прерывателя распределителя через дифференцирующую цепочку, составленную из конденсатора C_1 и диода $Д_4$, на базу транзистора T_2 для запуска измерительного триггера, собранного на транзисторах T_1 и T_2. Аналогично происходит запуск измерительного триггера на базу транзистора T_1 импульсами, поступающими с датчика импульсов $ДИ$, которые фиксируют во времени положение верхней мертвой точки цилиндра, принятого за отсчетный (например, первого).

Под воздействием стартовых импульсов измерительный триггер генерирует отрицательные прямоугольные импульсы, длительность которых пропорциональна углу рассогласования между стартовыми импульсами во времени, т. е. углу опережения зажигания. Средний ток, протекающий через стрелочный измерительный прибор, включенный по балансной схеме между коллекторами транзисторов T_1 и T_2, пропорционален длительности импульсов генерируемых триггеров, а соответственно и углу θ и линейно зависит от последнего. Этот ток

$$i_{ср} = K\frac{\tau}{T} = K\theta,$$

где K — коэффициент пропорциональности;

τ — длительность импульсов, генерируемых триггером;

T — период стартовых импульсов.

Из приведенного выражения видно, что изменения периода стартовых импульсов (т. е. оборотов коленчатого вала) не влияют на показания прибора, что является весьма существенным качеством описываемого фазометра. При угле рассогласования $\theta = 180°$ средний ток равен нулю. Эта особенность работы триггера использована для установки нуля стрелочного прибора. Шкала последнего разбита на 30 делений и проградуирована в углах θ. В зависимости от установки момента зажигания на двигателе (раннее или позднее) ток $i_{ср}$ меняет знак. Изменение знака среднего тока при изменении момента зажигания представляет значительное удобство, так как сразу производится отсчет абсолютного значения угла θ и момента зажигания (раннее или позднее) посредством переключателя $П_2$.

Наладка прибора производится в следующем порядке. К прибору подключается источник питания напряжением 12 *в*. Зажим *КП* присоединяется к выводу контактов прерывателя распределителя, и переключатель $П_1$ ставится в положение *2*. Величина сопротивления R_7 при наладке должна быть 100—200 *ком*. В первую очередь подбирается сопротивление R_1 из условия, что ток, текущий в цепи диода $Д_1$ кремниевого стабилитрона, должен составлять 10—15 *ма*.

В случае отклонения стрелки прибора за шкалу необходимо путем подбора величины сопротивления R_2 добиться нулевого показания, которое свидетельствует о правильной работе триггера. После этого производится корректировка шкалы. Вместо сопротивления R_7 включается переменное сопротивление порядка 200 *ком*. Посредством переключателя $П_1$ и потенциометра R_6 производится установка стрелки прибора на нуль. Затем от гнезда *КП* отключается соединительный провод. Стрелка прибора будет показывать какое-то значение (равное в данном случае 360°), так как триггер

находится в одном из устойчивых состояний, причем если она зайдет за нуль влево, то необходимо переключателем $П_2$ переместить ее в положение вправо от нуля и ручкой переменного сопротивления (200 *ком*) совместить с крайней правой риской шкалы, после чего можно снять переменное сопротивление и замерить его значение, равное $R_{из}$.

Значение добавочного сопротивления R_7 определяется по следующей формуле:

$$R_7 = \frac{R_{из} + R_р}{6} - R_р,$$

где $R_р$ — сопротивление рамки стрелочного прибора (выполнено из манганина).

В приборе применен магнитоэлектрический микроамперметр типа М494, транзисторы типа П14 с $\beta=40$ и диоды $Д_2$—$Д_4$ типа Д7А.

В случае необходимости измерения угла θ у двигателей с различным числом рабочих цилиндров датчик импульсов *ДИ* необходимо установить в соответствии с табл. 1.

Таблица 1

Число рабочих цилиндров двигателя	Количество шпилек, установленных на маховик двигателя	Число размыканий на один оборот маховика	Последовательность размыкания
1	1	1	180°
4	2	2	90°, 270°
6	3	3	60°, 180°, 300°
8	4	4	225°, 315°

9. АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТАХОМЕТР

Этот прибор позволяет измерять число оборотов у двигателей с различным числом рабочих цилиндров. Питается он от стартерных аккумуляторов автомобиля. Прибор смонтирован на панели 140×240 *мм* из органического стекла и помещен в футляр из пластмассы. Общий вес его около 1 *кг*.

Принципиальная схема прибора приведена на рис. 11. Импульсы отрицательной полярности U_1 (рис. 12) с контактов прерывателя распределителя *КП* через ограничительное сопротивление R_1 поступают на усилитель-ограничитель, собранный на транзисторе T_1 и работающий в режиме насыщения. Диод $Д_1$ срезает положительные всплески входного сигнала. Усиленные по току эмиттерным повторителем на транзисторе T_2 прямоугольные импульсы U_2 поступают на дифференцирующую цепочку $C_1Д_2$, которая формирует входные импульсы значительной длительности в узкие стартовые отрицательные импульсы U_3. Эмиттерный повторитель T_3 служит согласующим звеном между выходом дифференцирующей цепочки и входом ждущего мультивибратора, собранного на транзисторах T_4 и T_5. В соответствии с частотой входных импульсов (числом оборотов двигателя) мультивибратор генерирует прямоугольные отри-

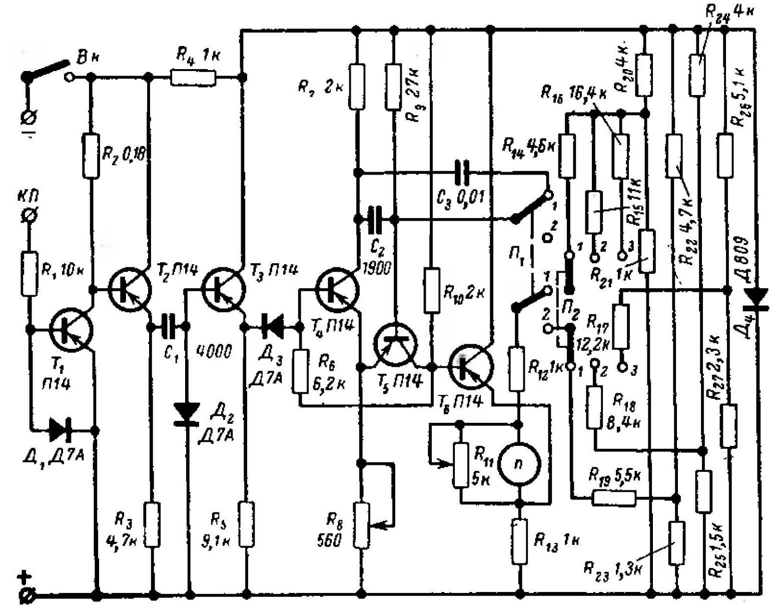


Рис. 11. Схема автомобильного тахометра.

цательные импульсы U_4, длительность которых определяется произведением $0,6C_2R_9$ или $0,6C_3R_9$.

Средний ток, протекающий через измерительный прибор n, определяется следующим выражением:

$$i_{ср} = K_1 f \frac{\tau U}{2\pi R} = K_2 n,$$

где K_1 и K_2 — коэффициенты пропорциональности ($K_1 \neq K_2$);

f — частота повторений импульсов, поступающих с контактов прерывателя распределителя;

U — амплитуда импульсов, генерируемых мультивибратором;

τ — длительность импульсов, генерируемых мультивибратором;

R — суммарное сопротивление стрелочного прибора;

n — число оборотов двигателя.

Из этой формулы видно, что средний ток, протекающий через стрелочный прибор, прямо пропорционален числу оборотов двигателя. На временной диаграмме импульсов (рис. 12) показано увеличение среднего тока $i_{ср}$, протекающего через измерительный прибор, при увеличении числа оборотов.

Эмиттерный повторитель на транзисторе T_6 согласует выходную цепь мультивибратора с нагрузкой измерительного прибора (микроамперметром типа М24 на 100 *мка*). Напряжение питания коллекторов стабилизировано стабилитроном $Д_4$.

Измерение числа оборотов производится следующим образом. Зажимы, выведенные на переднюю панель прибора, соединяются с одноименными зажимами электрооборудования автомобиля (зажим *КП* с зажимом контактов прерывателя распределителя, зажим «*Минус*» — с отрицательным зажимом аккумуляторной батареи, зажим «*Плюс*» — с массой автомобиля). Переключатель $П_2$ ставится в положение, соответствующее числу рабочих цилиндров у испытуемого двигателя, а переключатель $П_1$ — в положение 1 000—6 000 *об/мин*. Включив затем (выключателем *ВК*) прибор, производят отсчет числа оборотов. Отсчет оборотов холостого хода производится по шкале 0—1 000 *об/мин*. Переключатель $П_1$ служит для переключения шкалы прибора, причем положению *1* соответствует шкала 0—1 000, а положению *2* — шкала 1 000—6 000 *об/мин*.

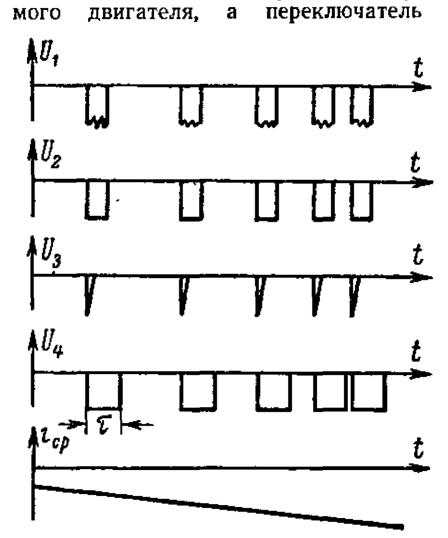


Рис. 12. Временная диаграмма импульсов.

Частота повторений импульсов, поступающих с контактов прерывателя распределителя, у двигателей с разным числом рабочих цилиндров различна при одном и том же числе оборотов. Чтобы прибор показывал число оборотов двигателя независимо от числа цилиндров, введен переключатель $П_2$, посредством которого можно переключить добавочные сопротивления прибора в соответствии с числом рабочих цилиндров двигателя. В положении *1* этого переключателя измеряется число оборотов у одноцилиндровых мотоциклетных двигателей и двухцилиндровых двухтактных, в положении *2* — у четырехцилиндровых и в положении *3* — у шестицилиндровых.

Наладку прибора производят с помощью звукового генератора и осциллографа. Звуковой генератор подключается к зажимам *КП* и «*Плюс*». К зажимам «*Плюс*» и «*Минус*» подключается любой источник постоянного тока напряжением 12 *в*. На выходе звукового генератора необходимо установить напряжение 10—20 *в* частотой 5 *кгц*. Переключатель $П_1$ ставится в положение 1 000—6 000 *об/мин*.

Посредством осциллографа проверяется напряжение в точках схемы согласно временной диаграмме импульсов (рис. 12). На коллекторе транзистора T_1 и соответственно на эмиттере транзистора T_2 должны быть прямоугольные импульсы U_2, на эмиттере транзистора T_3 должны просматриваться узкие отрицательные стартовые импульсы U_3, а на коллекторе транзистора T_5 и соответственно на эмиттере транзистора T_6 — отрицательные прямоугольные импульсы U_4, генерируемые ждущим мультивибратором на транзисто-

рах T_4 и T_5. При отсутствии прямоугольных импульсов на коллекторе транзистора T_5 необходимо при помощи потенциометра R_8 добиться их появления. Затем производится корректировка шкал прибора. Для этого частоту звукового генератора устанавливают равной 6 *кгц*. Посредством переменного сопротивления R_{11} стрелка измерительного прибора совмещается с риской шкалы 6 000 *об/мин.* Градуировка шкал и положение переключателя $П_2$ будет соответствовать действительному числу оборотов, если выдержаны указанные на схеме значения емкостей C_2, C_3 и сопротивлений R_{14}—R_{27} (эти сопротивления, а также сопротивление R_{13} желательно выполнить из манганина).

В приборе применены транзисторы типа П14 со средним коэффициентом усиления $\beta=40$.

10. АВТОМОБИЛЬНЫЙ РАДИОТАХОМЕТР

Принципиальная схема автомобильного радиотахометра, позволяющего измерять число оборотов у карбюраторных двигателей с воспламенением рабочей смеси от искры без применения каких-либо специальных датчиков, показана на рис. 13.

Принцип работы радиотахометра заключается в следующем. При работе двигателя внутреннего сгорания система зажигания

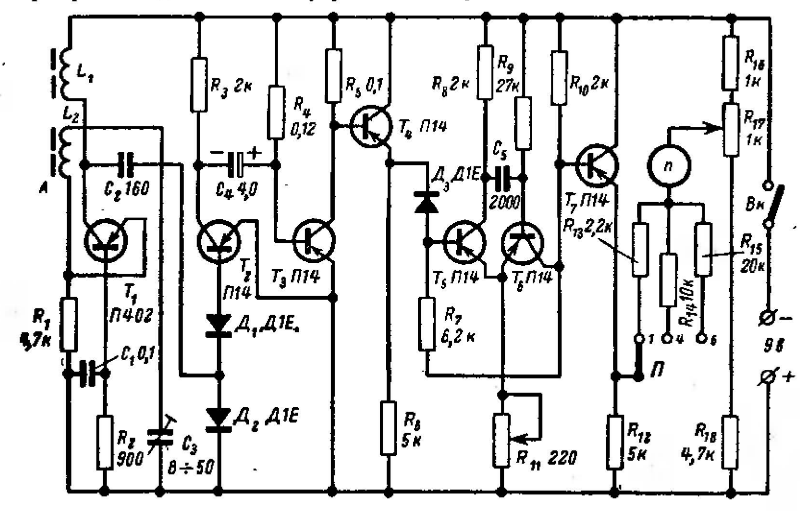


Рис. 13. Схема автомобильного радиотахометра.

излучает так называемые импульсные радиопомехи. Частота радиопомех имеет непрерывный спектр в диапазоне от ультракоротких до длинных волн, а частота следования импульсов связана определенным соотношением с числом оборотов коленчатого вала, зависящим от числа рабочих цилиндров и конструктивных особенностей двигателей. Радиоимпульсы, излучаемые системой зажигания, принимаются ферритовой антенной *A*, усиливаются каскадом на транзисторе T_1

и детектируются диодами $Д_1$ и $Д_2$. С выхода детектора через усилитель импульсов на транзисторах $Т_2$, $Т_3$ и согласующий каскад на транзисторе $Т_4$ импульсы поступают на запуск ждущего мультивибратора, собранного на транзисторах $Т_5$ и $Т_6$. Эмиттерный повторитель на транзисторе $Т_7$ согласует выход мультивибратора с нагрузкой — измерительным прибором (микроамперметр типа М24 на 100 *мка*).

Средняя величина тока, протекающего через измерительный прибор, пропорциональна частоте повторения радиоимпульсов и соответственно числу оборотов коленчатого вала. Шкала прибора линейна и соответствует пределу измерений от 0 до 5 000 *об/мин.*

Измерение числа оборотов производится следующим образом. Прибор располагается в непосредственной близости от автомобиля (на подножке, крыле или прямо в кабине водителя). Переключатель *П* ставится в положение, соответствующее числу рабочих цилиндров двигателя (*1*, *4* или *6*). Затем выключателем *Вк* включается источник питания, потенциометром R_{17} производится установка на нуль стрелки измерительного прибора, после чего запускается двигатель и производится отсчет числа оборотов.

Если напряженность поля радиоимпульсов недостаточна для правильной работы прибора (при увеличении числа оборотов стрелка остается неподвижной), то необходимо открыть капот автомобиля. Следует отметить, что радиовещательные станции могут существенно влиять на работу прибора. Для отстройки от них предусмотрен подстроечный конденсатор $С_3$.

Наладка радиотахометра производится посредством сигнал-генератора, звукового генератора и электронно-лучевого осциллографа. Напряжение на выходе сигнал-генератора модулируется напряжением с выхода звукового генератора. Несущая частота сигнал-генератора настраивается примерно на середину длинноволнового диапазона. Выход сигнал-генератора подключается к контуру L_1, и по шкале звукового генератора устанавливается частота 5 *кгц*. При этом переключатель *П* необходимо поставить в положение *1*. Потенциометром R_{17} устанавливается нуль на шкале прибора при отключенном сигнал-генераторе.

Затем, включив сигнал-генератор, производят подбор добавочного сопротивления R_{13}. Для этого вместо него в схему впаивают любое переменное сопротивление на 20—30 *ком*. Вращая ручку переменного сопротивления, необходимо добиться совмещения стрелки прибора с крайней правой риской шкалы, после чего, выпаяв переменное сопротивление, замеряют его точное значение и взамен него впаивают в схему точно такое же постоянное сопротивление R_{13}. Аналогично определяются номиналы сопротивлений R_{14} и R_{15}, причем подбор сопротивления R_{14} производится при частоте звукового генератора 10 *кгц* (переключатель *П* в этом случае должен находиться в положении *4*), а подбор сопротивления R_{15} — при частоте 15 *кгц* (переключатель *П* в положении *6*).

Катушка L_1 состоит из 200, а катушка L_2 — из 8 витков провода ПЭШО-0,1.

Следует отметить, что описанным радиотахометром можно измерять скорость проезжающего транспорта, если она не меньше 40—50 *км/ч*. Поясним это на примере. Как правило, автомобили с указанной скоростью двигаются на прямой передаче, и, следовательно, пересчитав шкалу оборотов с учетом передаточного числа от

коленчатого вала к колесам и учтя коэффициент трения дороги, с определенной степенью точности можно судить о скорости проезжающего автомобильного транспорта (переключатель *П* при этом должен находиться в положении, соответствующем числу рабочих цилиндров проезжающего транспорта).

Радиоимпульсный метод измерения оборотов двигателя и соответственно скорости проезжающего транспорта можно использовать для конструирования целого ряда приборов и автоматов, например в авто- и мотоспорте для регистрации скорости проезжающих машин и т. п.

11. ИЗМЕРЕНИЕ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА

Рассмотрим принцип измерения крутящего момента на валах на примере блок-схемы, показанной на рис. 14.

Вал, на который действует крутящий момент, скручивается, причем угол скручивания пропорционален крутящему моменту. На концы вала наклеивается ферропленка или наносится специальное магнитное покрытие, образующее два феррокольца. Против этих колец с небольшим зазором крепятся магнитные головки, посредством которых на кольцах можно производить запись контрольных

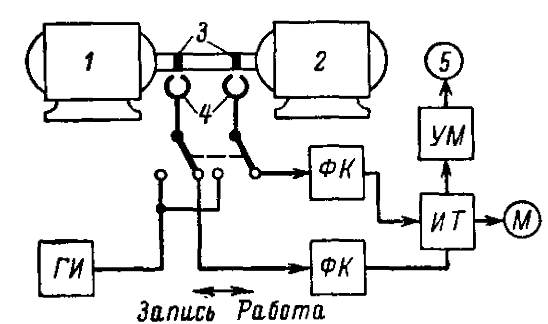


Рис. 14. Блок-схема измерения крутящего момента.
1 — двигатель; *2* — нагрузка; *3* — феррокольца; *4* — импульсные датчики; *5* — вибратор осциллографа; *ГИ* — генератор импульсов; *ФК* — формирующие каскады; *ИТ* — измерительный триггер; *УМ* — усилитель мощности; *М* — измерительный прибор.

импульсов. Запись производится синхронно и синфазно на ненагруженном валу при положении переключения «*Запись*». После записи переключатель ставится в положение «*Работа*», и контрольные импульсы поступают с этих же головок на вход фазоизмерительного устройства.

Средний ток, протекающий через измерительный стрелочный прибор на выходе фазоизмерительного устройства, пропорционален крутящему моменту на валу. Запись на феррокольца контрольных импульсов производится для увеличения разрешающей способности фазометра. Обычно абсолютный угол скручивания на валах не превышает 0,05—1° на метр длины. За счет увеличения ча-

стоты повторений контрольных импульсов, записанных на ферро-кольцах, значительно увеличивается (до нескольких десятков градусов) относительный угол скручивания, на который реагирует фазоизмерительное устройство.

12. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ИМПУЛЬСНЫХ ДАТЧИКОВ

Рассмотрим теперь несколько вариантов электрических импульсных датчиков для фиксации неэлектрических величин во времени. Как уже отмечалось, для измерения угла θ и скорости необходимо фиксировать во времени положение коленчатого вала исследуемого двигателя, причем в случае измерения угла частота повторений импульсов, возникающих в системе зажигания, должна быть равна частоте повторений импульсов, поступающих с выхода датчика, фиксирующего положение во времени верхней мертвой точки цилиндра, принятого за отчетный (например, первого). Электрические датчики, посредством которых выполняется такое фиксирование, можно разделить на следующие основные типы: а) механические системы прерывания; б) синхронные генераторы; в) фотогенераторы импульсов; г) магнитные датчики с фиксацией положения вала посредством зубьев или шестерен; д) магнитоимпульсные системы с нанесением на вал ферромагнитных сигналоносителей.

Мы не будем подробно останавливаться на конструкции импульсных датчиков и рассмотрим их в основном с точки зрения принципа работы. Датчик, выполненный по принципу прерывателя (рис. 15,*а*), представляет собой конструкцию из неподвижной *1* и подвижной *2* пластин, замыкающих цепь под действием вращающегося кулачка *3*, прикрепленного к валу двигателя. Частота импульсов, образующихся на выходе этого датчика,

$$f = \frac{nm}{60},$$

где n — число оборотов двигателя;
m — число выступов кулачка.

Такой датчик прост по конструкции и обеспечивает достаточно мощный выходной импульс, из которого без промежуточных каскадов усиления могут быть сформированы формирующим каскадом *ФК* стартовые импульсы. Основной его недостаток — сам принцип, т. е. контактная механическая система. Однако следует отметить, что используемый принцип измерения углов позволяет обеспечить нечувствительность схемы к вибрации контакта датчика, т. е. требуется только, чтобы передний фронт импульса датчика соответствовал верхней мертвой точке отсчетного цилиндра.

Использование в качестве датчика стандартного малогабаритного синхронного генератора *1* (рис. 15,*б*) при жестком сочленении его с валом двигателя позволяет получить трехфазное синусоидальное напряжение, частота которого определяется по приведенной выше формуле, где m — число пар полюсов на роторе синхронного генератора. Большое достоинство этого датчика заключается в том, что получаемое в процессе работы на его выходе трехфазное синусоидальное напряжение можно сдвигать от 0 до 360° посредством сельсина *2*, работающего в режиме фазовращения. Следовательно, не требуется точного сочленения датчика с валом двигателя, а необходимо лишь чтобы это сочленение было жестким. Совмещение же

стартового импульса, формируемого из синусоидального напряжения датчика (от верхней мертвой точки отсчетного цилиндра), можно производить в процессе работы двигателя поворотом сельсина. Принципиально сдвигать импульсы, получаемые в других типах датчиков, тоже можно, но для этого требуется значительное усложнение формирующего каскада *ФК*. Преимущество такого датчика состоит еще и в том, что в нем применяется стандартная аппаратура (синхронный генератор и сельсин) и что при этом выходной

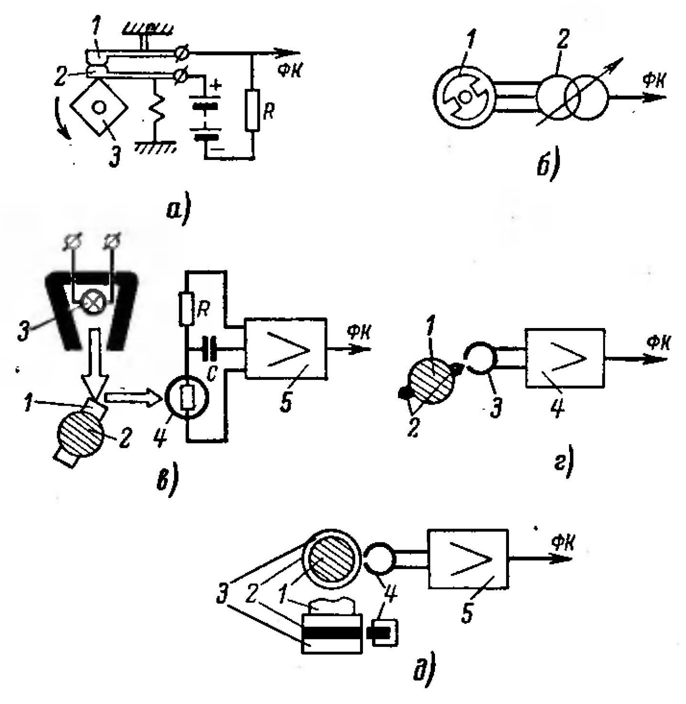


Рис. 15. Импульсные датчики.

сигнал имеет достаточную мощность, благодаря чему не требуется промежуточных согласующих усилителей в каскадах формирования.

Фотогенераторный датчик импульсов (рис. 15,*в*) требует для своей работы высокой культуры эксплуатации, поэтому он может использоваться только в условиях лаборатории. Датчик состоит из зеркал *1*, укрепленных на валу двигателя *2*. Зеркала крепятся так, чтобы в момент, соответствующий верхней мертвой точке отсчетного цилиндра, луч от лампы подсвета отражался бы на фотосопротивление *4*. При этом в результате изменения сопротивления появляется импульс, который после усиления подается на формирующий каскад *ФК*. Очевидно, что частота следования импульсов будет определяться приведенной выше формулой, где m — число зеркал, укрепленных на валу двигателя.

Отметим, что импульс, возникающий на выходе фотогенераторного датчика, имеет малую мощность, и поэтому требуется промежуточный усилительный каскад *5*. К недостаткам такого датчика можно еще отнести сложность настройки и зависимость амплитуды от числа оборотов при узком зеркале.

В магнитных датчиках (рис. 15,*г*) положение верхней точки отсчетного цилиндра фиксируется путем установки на валу двигателя магнитных зубьев *2* или специально профилированных шестерен, которые при вращении вала меняют магнитную цепь считывающей головки *3* (можно использовать головку для магнитофонной записи или другие стандартные записывающие или считывающие

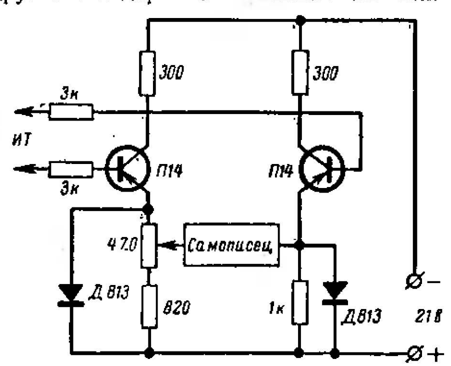


Рис. 16. Схема выходного согласующего каскада.

головки). В результате образуется импульс, который через промежуточный усилитель *4* подается на формирующий каскад *ФК*. Частота следования импульсов будет определяться из приведенного выше выражения, где m — число зубьев, устанавливаемых на валу двигателя.

Недостаток такого типа дачтика заключается в том, что для его оптимальной работы требуется малый зазор и, кроме того, необходим промежуточный усилитель. Однако этот магнитный датчик достаточно надежен в условиях эксплуатации.

Принципиально более точный способ измерения угла дает использование магнитно-импульсной системы с нанесением на вал двигателя *1* ферромагнитного сигналоносителя (рис. 15,*д*). Достигается это тем, что магнитные метки, соответствующие верхней мертвой точке отсчетного цилиндра, могут иметь очень малую ширину, исчисляемую долями миллиметра. Сигналоноситель представляет собой магнитную ленту *2*, наклеенную на диск *3* из немагнитного материала или специальный магнитный материал, нанесенный гальваническим способом на немагнитный материал. Считанные магнитной головкой импульсы через промежуточный усилитель *5* подаются на формирующий каскад *ФК*. Их частота определяется приведенным выше выражением, где m — число магнитных меток на сигналоносителе.

Однако практическое использование такого датчика сложно из-за того, что зазор между сигналоносителем и магнитной голов-

кой для обеспечения надежной работы не должен превышать 10 *мк*, что затрудняет его наладку и эксплуатацию.

В заключение следует отметить, что измерительные спусковые устройства можно применять в качестве регистрирующих и регулирующих приборов. Так, например, для регистрации измеряемых величин во времени применяются самописцы постоянного тока, которые подключаются к выходу измерительного спускового устройства через согласующий каскад. На рис. 16 показана принципиальная схема каскада, согласующего выход измерительного триггера *ИТ* с самописцем типа М-321, рассчитанным на максимальный рабочий ток 5 *ма*. В случае включения в выходную цепь измерительного спускового устройства реле постоянного тока (например, типа РП-4) получают двухпозиционный регулятор, реагирующий на изменение входной величины.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ПРИБОР ДЛЯ ПРОВЕРКИ ТРАНЗИСТОРОВ[1]

Основными параметрами, наиболее часто встречающимися в радиолюбительской практике при проверке транзисторов, являются:

1. Коэффициент усиления по току в схемах с общим эмиттером β, равный отношению приращения тока коллектора $\Delta I_к$ к приращению тока в цепи базы $\Delta I_б$, т. е. $\beta = \Delta I_к / \Delta I_б$.

2. Ток коллектора, когда ток базы равен нулю. Этот ток принято называть сквозным током транзистора $I_{с.к}$.

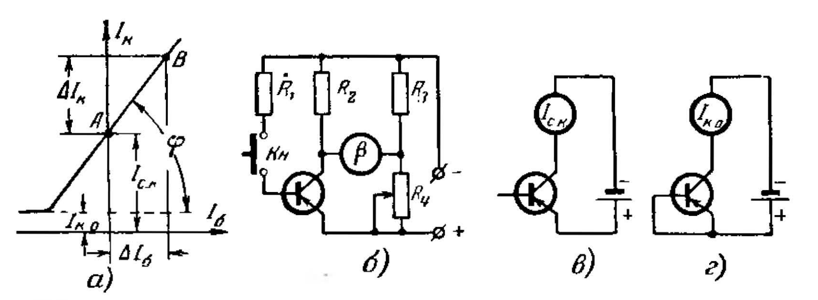


Рис. 17. Принцип измерения параметров транзисторов.

3. Ток коллектора, когда потенциал базы равен потенциалу эмиттера. Этот ток принято называть током коллекторного перехода транзистора $I_{к0}$.

Зная указанные параметры, например β и $I_{к0}$, можно определить коэффициент усиления по напряжению, а также построить (приближенно в режиме ненасыщения) характеристику транзистора $I_к = f(I_б)$, так как $\beta = \operatorname{tg} \varphi$ (рис. 17,*а*), где φ — угол наклона этой

[1] Прибор экспонировался автором на 17-й Всесоюзной выставке творчества радиолюбителей-конструкторов.

характеристики по отношению к оси абсцисс, $I_к$ — ток коллектора, $I_б$ — ток базы.

В приборе использованы следующие принципы измерения величин. Для измерения β применен мост, состоящий из двух плеч: R_3—R_4 и R_2 — сопротивление коллекторного перехода испытываемого транзистора (рис. 17,*б*). Между этими плечами включен микроамперметр (типа М-24 на 600 *мка*). Изменением сопротивления R_4 достигается баланс моста, т. е. установление тока, протекающего через микроамперметр, равным нулю. При помощи балансировки компенсируется сквозной ток транзистора. Таким образом, нулевое показание микроамперметра соответствует точке *А* на рис. 17,*а*, т. е. при $I_к = I_{с.к}$ ток через прибор (микроамперметр) $I_{пр}$ равен нулю. Нажатием кнопки *Кн* в цепь базы транзистора подается импульс тока $\Delta I_б$, отчего баланс моста нарушается. При этом показания микроамперметра будут пропорциональны β, т. е. $\beta = kI_{пр}$, где k — постоянный коэффициент, зависящий от чувствительности микроамперметра и значений R_2 и $\Delta I_б$. Показание микроамперметра в этом случае соответствует точке *В* на рис. 17,*а*.

Величину импульса тока базы $\Delta I_б$ можно считать постоянной для всех типов испытываемых транзисторов, так как сопротивление R_1 (порядка нескольких сотен килоом) гораздо больше сопротивления база — эмиттер в режиме ненасыщения (порядка единиц ки-

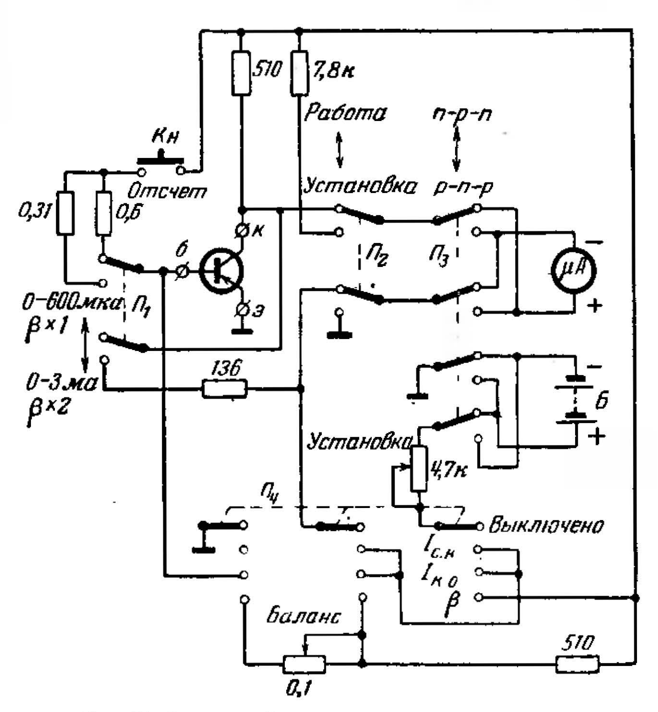


Рис. 18. Схема прибора для проверки транзисторов.

лоом). По шкале микроамперметра непосредственно производится отсчет величины β согласно приведенному выше соотношению.

Величина $\Delta I_б$ выбрана таким образом, чтобы не происходило насыщение тока коллектора для всех типов испытываемых транзисторов. Для повышения точности измерения β в приборе предусмотрена регулировка напряжения питания при помощи реостата и все измерения производятся при постоянном напряжении 5 *в*.

Схема для измерения токов $I_{с.к}$ и $I_{к0}$ приведена на рис. 17,*в* и *г*.

Описываемый прибор позволяет измерять коэффициент усиления β всех типов плоскостных транзисторов. Он имеет два предела измерения β (0—150 и 0—300) и два предела измерения токов $I_{с.к}$ и $I_{к0}$ (0—600 *мка* и 0—3 *ма*). Погрешность измерения β не более 2%, а погрешность измерения $I_{с.к}$ и $I_{к0}$ не более 1,5%. Прибор смонтирован на панели из органического стекла размерами 138 × × 240 *мм* и помещен в пластмассовый футляр размерами 245 × × 140 × 95 *мм*. Принципиальная схема прибора показана на рис. 18.

Проверка транзисторов производится в следующем порядке. Испытываемый транзистор подключается к соответствующим зажимам на передней панели прибора. В соответствии с типом транзистора переключатель $П_3$ ставится в положение *p-n-p* или *n-p-n* (этот переключатель изменяет полярность напряжения питания и одновременно полярность микроамперметра). Переключатель $П_1$ переводится в положение 0—3 *ма* (параллельно микроамперметру подключается шунт 136 *ом*, предохраняя его в случае неисправного транзистора). Переключатель $П_4$ переводится из положения *Выключено* в положение $I_{с.к}$. Переключатель $П_2$ ставится в положение *Установка*, и потенциометром *Установка* стрелку микроамперметра устанавливают на крайнюю правую риску шкалы, что соответствует напряжению питания 5 *в*.

Затем переключатель $П_2$ переводят в положение *Работа* и измеряют $I_{с.к}$ сначала на шкале 0—3 *ма*, а потом более точно на шкале 0—600 *мка* (если ток будет около 3 *ма*, то это значит, что у транзистора пробит коллекторный переход и поэтому дальнейшие измерения производить не следует). Далее переключатель $П_4$ переводят в положение $I_{к0}$ и измеряют ток $I_{к0}$ на шкале 0—600 *мка*.

После этого переключатель $П_4$ переводят в положение β. Ручкой потенциометра *Баланс* добиваются установки стрелки микроамперметра на нуль и, нажимая кнопку *Отсчет*, измеряют β. Если на шкале β=150 стрелка заходит за шкалу, то необходимо перейти на шкалу β=300.

Переключателем $П_1$ производят переключение пределов измерения β. В положении β × *1* к базе транзистора подключено сопротивление 310 *ком*, а в положении β × *2* — сопротивление 600 *ком*. Переключатель $П_2$ переводит микроамперметр, измеряющий ток коллектора, из положения *Работа* в положение *Установка*. В положении *Установка* к микроамперметру подключается добавочное сопротивление 7,8 *ком*, превращая его в вольтметр, контролирующий напряжение источника питания. В этом случае шкала микроамперметра соответствует напряжению 5 *в*. При переводе этого переключателя из положения *Работа* в положение *Установка* коллекторная цепь транзистора не разрывается, так как в ней остается включенным

шунт микроамперметра (при измерении напряжения питания переключатель $П_1$ должен находиться в положении 0—3 *ма*).

Наладка прибора сводится к подбору величины сопротивления в цепи базы (т. е. подбору $\Delta I_б$) с тем, чтобы транзисторам с $\beta = 150$ соответствовал ток прибора, равный 600 *мка*. У исправных транзисторов типов П6А—П6Д, П11—П16 величина β может быть 30—150, а у транзисторов типов П401—П407 порядка 80—300. Сквозной ток у всех маломощных транзисторов не превышает 200—600 *мка*, а ток коллекторного перехода не превышает 20—30 *мка*.

Пересчет коэффициента усиления по току с общим эмиттером β на коэффициент усиления по току с общей базой α производится по формуле

$$\alpha = \frac{\beta}{1 + \beta}.$$

СОДЕРЖАНИЕ